I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

DINÁMICA ENTRE EL CONCENTRADO DE COBRE Y LECHOS DE GRAVA POR DERRAME EN RIOS

NATALIA BUSTAMANTE[1]
CAMILO TAPIA[2]
YARKO NIÑO[3]

RESUMEN EXTENDIDO

La economía chilena se basa principalmente en la minería; en particular en la extracción, refinación y venta de cobre. El mineral extraído se transporta mediante concentraductos, los cuales recorren grandes distancias entre la celda de flotación y los hornos. A lo largo de este recorrido los concentraductos pueden cruzar sobre cauces aluviales, generando un alto riesgo ambiental asociado a posibles derrames del concentrado de cobre y relave, debido a que estos son altamente contaminantes. A lo largo de la historia se han presentado diversos derrames de concentrado de cobre y relave sobre corrientes aluviales; el más reciente ocurrió el 25 de febrero de 2016, en zonas aledañas a los Andes, región de Valparaiso – Chile (Moreno, 2016). El objetivo de esta investigación es estudiar la dinámica del concentrado de cobre en un lecho granular. El análisis del comportamiento del relave es objetivo de otra investigación que se está realizando en paralelo.

Los derrames de concentrado de cobre se han dado principalmente sobre ríos de gravas, dadas las condiciones geomorfológicas de las zonas norte y centro del país.

Cabe resaltar el Decreto Supremo MOP N°609, de 1998, que indica que el máximo vertimiento de concentrado de cobre es de 3.0 [mg/l]; pero cuando ocurre una ruptura del concentraducto, se puede producir el vertimiento en el río de una mezcla hiperconcentrada de concentrado de cobre (mucho mayor al límite permitido), el cual afecta directamente al sistema biótico fluvial (superficial y subsuperficial) (Mackling et al. 2006; Goudarz, 2007; Matache et al., 2013; Shanbezadeh et al., 2014). Esta situación motivó el estudio experimental del transporte de concentrado de cobre en lechos de gravas, permitiendo evaluar hasta que profundidad podría verse afectado el cuerpo de agua después de un accidente minero y los flujos del concentrado de cobre en los sedimentos del lecho.

[1] Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Contacto: nataliabustamante@ug.uchile.cl
[2] Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Contacto: camilotapia@ug.uchile.cl
[3] Departamento de Ingeniería Civil, Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile. Contacto: ynino@ing.uchile.cl

A continuación, se presenta la configuración del modelo experimental: un canal de 2.0 [m] de longitud, 0.11 [m] de ancho, pendiente variable y caudales entre 0.01 [m^3/s] a 0.015 [m^3/s]. La instalación experimental es pequeña, para controlar la descarga del concentrado de cobre, de modo que no haya peligro de vertimiento en el alcantarillado. La instrumentación del montaje consta de: un tubo Venturi para medir caudales, una cámara Nikon D300 para el análisis de transporte del concentrado de cobre y una cámara Fastcam Mini UX50 para el análisis PIV/PTV de las velocidades del flujo. Un lecho de grava se monta en el canal, con un diámetro medio de las partículas de 10 [mm] y densidad de 2,65 [gr/cm^3]. El concentrado de cobre tiene un diámetro característico (d_{50}) de 40 [µm] y una densidad de 4,2 [gr/cm^3].

El concentrado se vierte con concentraciones en peso sólido entre el 60% - 70%, para evitar su encapsulamiento. Este encapsulamiento se genera cuando entra en contacto el concentrado seco con el agua, debido a que las partículas se agrupan de tal forma que generan un empaquetamiento que protege a las partículas del interior de entrar en contacto con el fluido. La altura de la grava se ha variado, entre 2 a 5 veces el D_{90} de la grava, como lo plantean Gibson et al. (2009). Este espesor permite observar de manera adecuada como transita el concentrado de cobre entre el material granular. El concentrado se inyecta en el fondo del canal con jeringas para minimizar el transporte en suspensión y observar el transporte del concentrado en el lecho, ya sea por percolación o mediante el avance de un frente de onda.

El procesamiento de imágenes permite evaluar el proceso de percolación y determinar la existencia y la evolución del frente de onda. Las cargas del concentrado de cobre se discriminan en: suspensión y fondo; la primera se evalúa midiendo la concentración del material fino en el fluido (sólidos totales) y las segundas se hacen en función del peso de la grava, (peso grava inicial (W_{go}) – peso del lecho con concentrado (W_f)).

Inicialmente el transporte del concentrado de cobre es en suspensión, debido a que su diámetro es 40 [µm] (Figura 1). Sin embargo, debido a su alto peso específico se genera el proceso de sedimentación, induciendo así al transporte de fondo del concentrado.

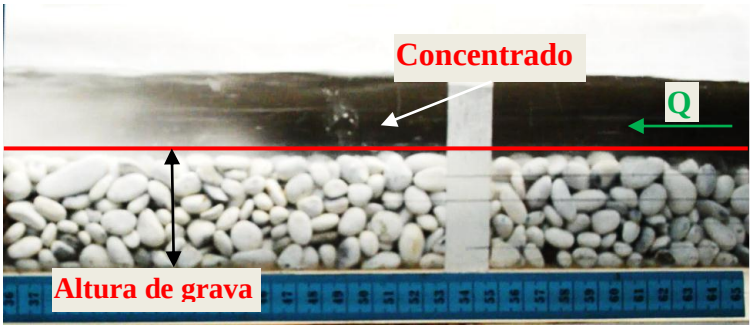

Figura 1. Interacción entre el concentrado de cobre y material granular ($t_{inicial,}$ respecto al vertimiento del concentrado de cobre).

En la **Figura *2*** se muestra el inicio de la percolación del concentrado entre la grava (ver flechas amarillas). El concentrado en el lecho de gravas no se mueve de forma monótona en

todo el canal, es decir, el concentrado de cobre entre la grava no se genera siempre de aguas arriba hacia aguas abajo. La **Figura 3** permite observar que el movimiento del concentrado se da, en ocasiones, en dirección contraria al flujo.

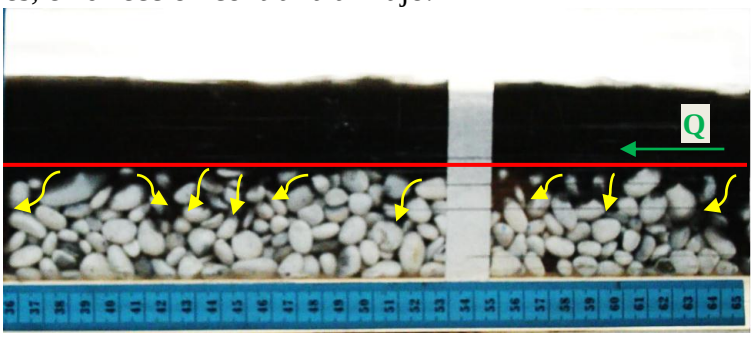

Figura 2. Percolación, t=1 [s].

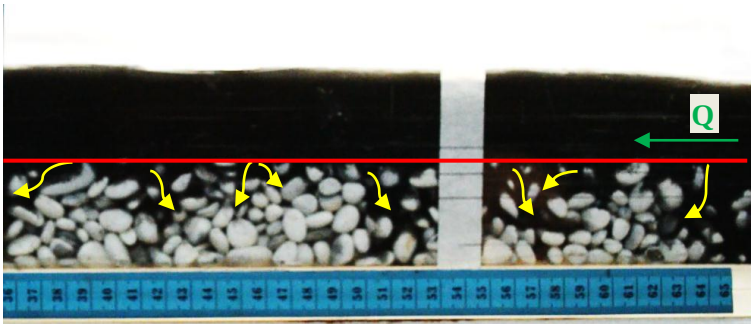

***Figura 3**. Percolación, t=3 [s].*

La Figura 4 muestra el concentrado de cobre retenido entre las gravas al finalizar el experimento. La retención del concentrado se da cuando el material fino entra en contacto con la grava, el resto del concentrado se transporta en suspensión.

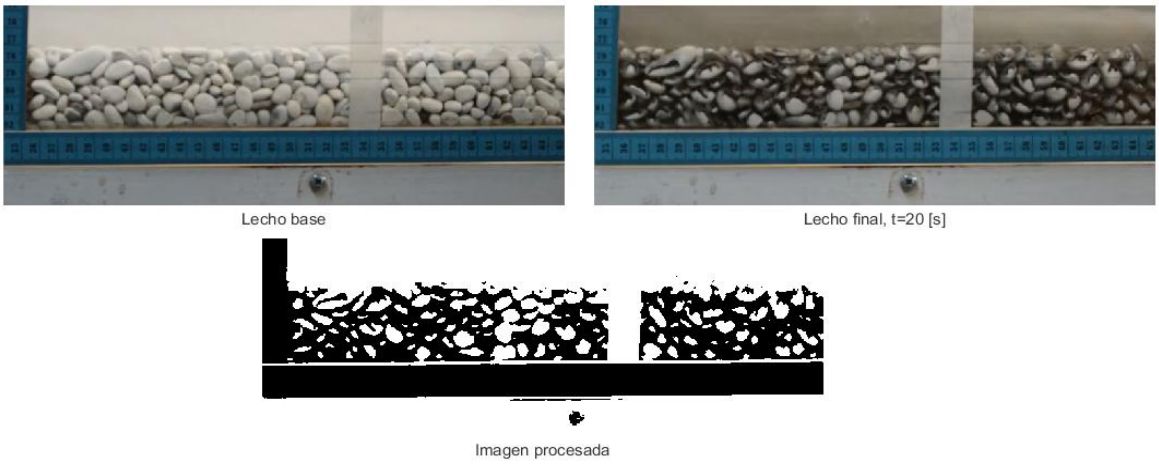

Figura 4. Percolación final. La imagen procesada es la imagen final menos la imagen inicial. Se hace una correlación entre esta imagen procesada y el peso de concentrado de cobre en el volumen de sedimento que cubre la foto.

Los resultados presentados en este artículo muestran que el concentrado puede percolar mucho más que 5 veces el D_{90} de la grava, problablemente debido a que el material es más pequeño que una arena fina y mucho mayor la densidad. En los próximos experimentos se evaluará el comportamiento del concentrado de cobre en granulometrías de gravas extendidas y se presentarán los campos de velocidad en el canal.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento del Departamento de Ingeniería Civil y del Proyecto Fondecyt 1140767.

Referencias

Gibson, D., HEATH, R., SCHOELLHAMER, D. (2009) Vertical gradational variability of fines deposited in a gravel framework. Sedimentology. **56**, 661–676.

Goudarz, N. (2007) Determination of Trace Amounts of Copper in River and Sea Water Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) after Cloud-point Preconcentration. Brazilian Chemistry. **18**, No. 7, 1348-1352.

Mackling M.G., et, al. (2006), A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining. Geomorphology. 79, 423-447.

Matache, M., Marin, C., Rozylowicz, L., Tudorache, Alin., Inicial de los nombres y apellidos (2013). Plants accumulating heavy metals in the Danube River wetlands. Environmental Health Sciences & Engineering. Vol .2013, 1-7.

Moreno, G. (25 de febrero de 2016), Rotura de tubería en faena de Codelco genera derrame de mineral en río de los Andes., El Mercurio. www.emol.com

Shanbezadeh, S., Dastjerdi, M. V., Hassanzadeh, A., and Kiyanizadeh, T. (2014). Heavy Metals in Water and Sediment: A Case Study of Tembi River. Environmental and Public Health. Vol 2014, 1-5.